

센서 네트워크에서 장애물 극복을 위한 방향기반의 라우팅 기법

(Direction-based Geographic Routing for Wireless Sensor Networks)

고 영 일 [†] 박 창 섭 ^{**} 손 인 근 ^{***} 김 명 호 ^{****}
(Young Il Ko) (Chang Sup Park) (In Keun Son) (Myoung Ho Kim)

요 약 센서 네트워크에서는 센서노드들 사이에 다양한 형태의 장애물들이 존재할 수 있다. 이러한 장애물들로 인하여 라우팅 과정에서 해결해야 할 여러 가지 문제점들이 발생하게 된다. 즉, 장애물을 우회하는 과정에서 극복경로가 지나치게 길어질 수 있다. 따라서, 장애물이 많은 환경에서도 에너지 효율적으로 경로를 생성할 수 있는 라우팅 기법이 요구된다. 기존의 위치기반 라우팅 기법은 장애물 극복을 위해 전체 네트워크 그래프를 평면 그래프(planar graph)로 변환하는 과정을 필요로 한다. 이 과정에서 실제 네트워크 토폴로지가 왜곡됨으로 인해 여러 가지 문제점들이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 목적지 중심의 극 좌표계를 기반으로 센서의 위치를 결정하고, 풀라나 과정 없이 장애물을 적용적으로 극복할 수 있는 방향기반의 라우팅 기법을 제안한다. 또한, 실험을 통하여 제안 방법이 장애물을 회피하는 과정에서 에너지 효율적인 경로를 생성함을 보인다.

키워드 : 센서 네트워크, 위치기반 라우팅

Abstract Geographic routing protocols are very attractive choice for routing in wireless sensor networks because they have been shown to scale better than other alternatives. Under certain ideal conditions, geographic routing works correctly and efficiently. The most commonly used geographic routing protocols include greedy forwarding coupled with face routing. Existing face routing algorithms use planarization techniques that rely on the unit-graph assumption. In real world, many conditions violate the unit-graph assumption of network connectivity, such as location errors, communication voids and radio irregularity, cause failure in planarization and consequently face routing. In this paper, we propose the direction-based geographic routing, which enables energy efficient routing under realistic conditions without planarization techniques. Our proposed approach is for the case in which many sensors need to collect data and send it to a central node. Simulation results show that the protocol exhibits superior performances in terms of energy consumption, delivery success rate, and outperforms the compared protocols.

Key words : Sensor Networks, Geographic Routing

1. 서 론

센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 핵심기술

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원 사업(ITA-2006-C1090-0603-0031)의 연구결과로 수행되었음

[†] 학생회원 : 한국과학기술원 전자전산학과(전산학 전공)

yiko@dbserver.kaist.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과

park@suwon.ac.kr

^{***} 정 회 원 : 방위사업청 사업관리부

ikson@dbserver.kaist.ac.kr

^{****} 종신회원 : 한국과학기술원 전자전산학과 교수

mhkim@dbserver.kaist.ac.kr

논문접수 : 2006년 1월 23일

심사완료 : 2006년 9월 1일

로서 최근 다양한 분야에서 관심이 증대되고 있다. 센서 네트워크는 센싱 기능과 계산처리, 그리고 무선 통신능력을 보유한 센서 노드와 베이스스테이션(base-station)으로 구성된 무선 네트워크로 정의된다. 센서 노드는 배터리에 의해 작동되므로 길지 않은 수명, 무선 통신거리의 제한 등 심각한 자원제약이 존재한다. 또한, 센서 네트워크는 센서 노드의 이동, 기존 노드들의 고장이나 에너지 고갈, 새로운 노드의 추가 등으로 네트워크의 토폴로지가 수시로 변하는 특성이 있다.

대규모 센서 네트워크 환경에서 센서의 위치정보가 가용할 경우, 효과적이고 확장성 있는 라우팅 기법으로

서 위치기반 라우팅 기법이 제안되었다[1]. 이 기법은 이웃노드들의 위치정보 외에는 라우팅을 위한 다른 정보를 유지할 필요가 없으므로 확장성이 뛰어나며 토폴로지 변경에 잘 적응하는 특성이 있다[1-6]. 따라서 이 방식은 극히 제한된 자원을 가지고 에너지 효율적으로 라우팅을 수행해야 하는 센서 네트워크 환경에 적합한 방식이라 할 수 있다.

또한, 센서 네트워크 응용에서 나타나는 일반적인 통신 방식은 여러 센서들이 하나의 목적지 노드로 데이터를 전송하는 형태이다. 즉, 센서들은 목적지 노드의 위치를 알고 목적지 노드를 향하여 중앙 집중적으로 데이터를 전송한다. 이러한 통신 방식의 대표적인 예로서 데이터-중심 저장방식(data-centric storage)을 들 수 있다[7]. 데이터-중심 저장방식에서는 각 센서 노드가 획득한 데이터 값을 분석하여 사전에 정의된 데이터 속성값의 그룹을 결정한다. 다음, 해당 그룹의 대표 노드(home node)에게 전송한다. 베이스스테이션은 각 그룹의 대표 노드에게만 질의를 보내고 결과를 전송받는다. 데이터-중심 저장방식에서의 대표 노드와 같이 도달해야 할 목적지의 위치를 알고 있는 경우 위치기반 라우팅 기법은 이와 같은 데이터-중심 저장방식을 효과적으로 지원할 수 있다.

라우팅 경로 상에 장애물이 존재하는 경우 대부분의 위치기반 라우팅 기법은 플라나 과정(planarization)을 통해 전체 네트워크 그래프를 평면 서브-그래프로 변환하게 된다. 이러한 플라나 과정은 겹치는 간선을 제거하고 평면 서브-그래프를 최신 상태로 유지하는 비용 외에도 라우팅의 성능과 정확도를 약화시키는 문제를 안고 있다. 또한, 실제 환경에서 센서 노드의 위치정보가 부정확하거나 센서 노드의 무선통신 반경이 일정하지 않을 경우 플라나 과정으로 인해 실제 네트워크의 토폴로지를 왜곡시킬 수 있다. 결과적으로 센서 네트워크가 구축된 지역에 다양한 형태의 장애물이 많이 존재하거나 밀집분포가 아닐 경우 기존의 방법은 비효율적인 경로를 생성하거나 메시지를 손실할 가능성이 높아진다[8].

본 논문에서는 명시적으로 목적지의 위치를 알고 있고, 여러 센서 노드에서 하나의 목적지를 향하여 중앙 집중적으로 데이터를 전송하는 응용에서 사용할 수 있는 새로운 위치기반 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 방법의 목적은 다양한 형태의 장애물이 존재하는 환경에서 플라나 과정 없이 에너지 효율적인 극복 경로를 생성하는 것이다. 즉, 센서 네트워크의 가장 중요한 특성인 에너지 제약적인 요소를 가장 우선적으로 고려하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구를 살펴본 후, 3장에서 문제를 기술하며, 4장에서부터 6장

에 걸쳐 제안하는 방법을 자세하게 기술한다. 7장에서는 제안 방법과 기존 방법 간의 성능 비교에 대하여 기술하고 8장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

일반적으로 위치기반 라우팅 기법은 그리디 포워드링(greedy forwarding)과 페이스 라우팅(face routing)을 결합하여 사용한다. 그리디 포워드링은 자신의 위치, 이웃노드와 목적지 노드의 위치정보를 이용하여 자신보다 목적지 노드에 더 가까운 이웃노드에게 메시지를 전달하는 방식으로서 밀집분포의 네트워크에서 최단경로에 근접한 경로를 생성한다[9]. 그리디 포워드링의 문제점은 자신보다 목적지 노드에 더 가까운 이웃노드가 존재하지 않을 경우, 연결노드의 부재로 인해 위치정보를 기반으로 하는 라우팅 경로가 차단될 수 있다는 것이다.

그리디 포워드링 실패가 발생할 경우 장애물을 극복하기 위해 페이스 라우팅이 제안되었다[10]. 페이스 라우팅의 기본 아이디어는 출발 노드와 목적지 노드를 연결하는 직선상에 놓인, 노드들을 연결한 다각형의 면을 따라 라우팅을 진행하는 것이다. 즉, 출발 노드를 포함한 다각형의 면들을 순회하면서 목적지 노드에 더 가까운 인접한 다각형을 찾아 그것을 구성하는 이웃 노드로 메시지를 전송한다. GPSR[2] 알고리즘은 널리 사용되는 위치기반 라우팅 방법으로, 주어진 센서 네트워크에서 서로 교차하는 간선들을 모두 제거하여 RNG 또는 GG 그래프 형태의 평면 서브-그래프를 구축한 후 그것을 이용하여 페이스 라우팅을 수행한다. GPSR 알고리즘은 목적지 노드에 더 가까운 이웃노드가 존재하지 않을 때 메시지의 모드가 전환되면서 오른손-규칙을 따라 구축된 평면 서브-그래프를 순회하게 된다. 이때 그리디 포워드링 실패가 발생한 노드의 위치를 메시지에 기록하여 두었다가 페이스 라우팅 도중 목적지 노드와의 거리보다 가까운 노드를 발견하면 그리디 포워드링으로 전환된다[1,11].

메시지를 전달받은 현재 노드가 장애물로 인해 목적지를 향한 전진방향이 아닌 다른 방향으로 메시지를 보내고자 할 때 한 번의 통신으로 더 멀리 보낼 수 있는 기회가 존재한다. 페이스 라우팅의 오른손-규칙은 이전 노드의 간선을 기준으로 반시계방향으로 가장 먼저 만나는 간선을 선택하는 것으로서 장애물의 경계선에 가장 인접한 경로를 생성해주며 이론적으로 목적지까지 메시지의 전달을 보장할 수 있는 장점을 보유하고 있다. 그러나 라우팅 과정에서 매 홉(hop)마다 메시지 통신의 회수를 절감할 수 있는 기회를 고려하지 않는다. 또한, 페이스 라우팅은 그림 9와 같은 형태의 장애물을 극복하는 과정에서 비효율적인 경로를 생성하는 문제점이 있

다. 최근에 제안된 GOAFR[12] 알고리즘은 최악의 경우에 발생할 수 있는 비효율적인 경로를 최적화함으로써 GPSR 알고리즘의 문제점을 보완하였다.

일반적으로 실제 센서 네트워크의 토폴로지는 평면 그래프 형태가 아니다. 앞에서 언급한 그래프 기반의 페이스 라우팅 방법은 이론적으로 실제 네트워크의 토폴로지가 차단된 곳이 없고, 겹쳐진 간선이 존재하지 않는 평면 서브-그래프를 찾을 수 있다는 전제하에 목적지 노드까지의 메시지 전달을 보장할 수 있다[13]. 실제 환경에서는 플라나 과정에서 네트워크의 연결이 차단될 수도 있으며 이로 인해 메시지가 손실되거나, 상호 겹치는 간선을 완전히 제거하지 못할 경우 사이클이 형성되어 라우팅 도중 루프에 빠질 수도 있다[8]. 또한 이 방식은 페이스 라우팅을 위해 평면 서브-그래프를 구축하고, 최신 상태로 유지해야 하는 부가비용이 존재한다[2].

3. 문제기술 및 연구동기

3.1 위치기반 라우팅 기법의 장애물 문제

센서 네트워크 환경에서는 다양한 형태의 장애물들이 존재할 수 있다. 특히 센서 네트워크는 사람의 접근이 용이하지 않은 환경에 구축되는 경우가 많으므로, 센서 노드들 사이에 통신을 방해하는 장애물이 존재하거나 넓은 웅덩이나 늪지대와 같이 일정 면적 내에 센서 노드의 배치가 곤란한 경우도 흔히 존재한다. 센서 네트워크의 환경은 시간이 경과함에 따라 장애물 지역이 수시로 달라지는 특성이 있다. 예를 들어, 전체 네트워크의 수명연장과 각 노드간의 에너지 균형을 맞추기 위해 순환적으로 센서 노드의 작동을 꺼놓는 경우, 그 지역은 일정 기간 동안 센서 노드가 통신기능을 수행할 수 없으므로 일시적인 장애물이라 볼 수 있다. 또한, 센서가 배치된 환경에 따라서 장애물이 그림 9와 같이 네트워크의 외곽경계선에 인접한 형태로 존재할 수도 있다. 이와 같이 다양한 형태의 장애물이 존재하는 실제 센서 네트워크 환경에서 기존의 위치기반 라우팅 기법으로 해결하기 어려운 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다. 즉, 장애물을 우회하는 과정에서 지나치게 경로가 길어지거나, 심지어 메시지가 라우팅 도중에 손실되는 경우가 발생할 수도 있다.

3.2 플라나 과정의 문제

GPSR 알고리즘을 비롯한 대부분의 위치기반 라우팅 기법은 라우팅 경로 상에 존재하는 장애물을 우회하기 위해 플라나 기법을 사용한다. 이론적으로 센서의 위치가 정확하다는 가정과 센서 노드의 통신반경은 일정하다는 가정을 기반으로 플라나 과정을 통해 전체 네트워크 상의 모든 노드를 포함한 평면 서브-그래프를 구축할 수 있다. 그러나, 실제 환경에서 주어진 센서 네트워

크를 분할하지 않고 겹치는 링크가 전혀 없는 평면 그래프를 찾는 것이 용이하지 않다. 최근 일련의 연구 [8,14,15] 결과에서 알 수 있는 중요한 사실은 페이스 라우팅의 실패가 플라나 과정의 실패와 밀접한 관련이 있다는 것이다. 또한, 플라나 과정을 위한 두 가지 가정 사항은 실제 센서 네트워크 환경에 맞지 않으며 플라나 과정의 실패와 더불어 페이스 라우팅의 성능과 정확도에 심각한 영향을 줄 수 있다.

센서의 위치정보는 위치추정 시스템과 환경의 영향으로 오차를 유발할 수 있다. 일반적으로 GPS와 같은 외부 시스템의 도움으로 센서의 위치를 결정할 수 있는데, GPS는 통상 일정 범위의 오차를 허용하고 있다. 이러한 위치정보의 부정확성은 위치기반 라우팅 기법의 전체적인 성능과 정확도를 저하시키는 것으로 알려져 있다. 그리디 포워딩의 라우팅 성능은 위치오차에 의해 크게 영향을 받지 않는 반면[16], 페이스 라우팅은 플라나 과정을 동반하므로 약간의 위치오차에도 성능과 정확도에 심각한 문제를 일으킬 수 있다[8]. 센서 노드의 통신반경이 일정하다는 가정은 페이스 라우팅의 플라나 과정을 위해 필요한 가정이다. 실제 센서 네트워크 환경에서 배터리 전원으로 동작되는 센서 노드의 통신반경은 일정하지 않으며 시간이 경과함에 따라 점점 줄어드는 특성이 있다. 이러한 특성은 플라나 과정의 실패를 유발하는 중요한 원인으로 작용할 수 있다.

GPSR, GOAFR 등 평면 그래프를 생성 및 이용하는 라우팅 알고리즘들은 두 가지 가정이 성립하지 않는 실제 환경에서는 잘못된 라우팅 결과를 생성할 수 있다. 위치기반 라우팅 기법이 정확하게 작동하기 위해서는 위치정보를 이용한 토폴로지가 실제 네트워크의 토폴로지를 정확하게 반영하여야 한다[17]. 따라서 플라나 과정을 동반하는 페이스 라우팅을 대체하거나 근본적으로 개선시킬 수 있는 라우팅 기법이 요구된다.

3.3 연구동기

위치기반 라우팅 방법에서 각 센서 노드들은 전달하고자 하는 메시지를 넘겨받게 되면 자신의 이웃노드 중에서 최적의 노드를 선택하여 메시지를 전송하게 된다. 여기서 최적의 노드는 한 번의 통신으로 메시지를 목적지에 가장 가까운 거리로 보낼 수 있는 노드를 의미한다. 정상적인 경우 그리디 포워딩 기법을 사용하여 목적지와 거리가 가장 가까운 노드를 우선적으로 선택함으로써 최적의 노드를 선택할 수 있다. 그러나 그리디 포워딩이 실패하게 되어 더 이상 전진방향으로 진행할 수 없다면 목적지와 거리를 가지고 라우팅을 진행할 수 없게 된다.

본 논문의 목적은 기존의 플라나 과정을 포함하는 위치기반 라우팅 기법들의 문제점을 해결하고 다양한 형

태의 장애물이 존재하는 환경에서 그리디 포워딩 실패 시 에너지 효율적인 라우팅 경로를 생성할 수 있는 새로운 라우팅 방법을 제안하는 것이다. 기본 아이디어는 전진방향을 포함하여 4개의 라우팅 방향을 정의하고, 라우팅 과정에서 정해진 라우팅 방향으로 가장 진행을 많이 하게 되는 노드를 우선적으로 선택하여 메시지를 전송하는 것이다. 기존 방법과 마찬가지로 제안 방법에서는 센서의 위치 정보가 정확하며 센서 노드간의 양방향 통신이 가능하다는 것을 가정한다. 그러나 센서 노드의 무선 통신 반경이 일정하다는 가정 사항은 요구되지 않는다.

4. 기본 개념

4.1 극좌표 기반의 센서 위치 결정

센서 노드의 위치표현을 위해 가장 보편적으로 사용되는 직각 좌표계 대신, 극 좌표계를 이용하여 동일한 위치를 표현할 수 있다. 2차원 직각 좌표계는 서로 직교하는 x, y 좌표축에 의해 정의되는 반면, 2차원 극 좌표계는 원점으로부터의 실제거리와 방위각에 의해 정의된다.

그림 1은 목적지 노드 D를 원점으로 하여 모든 센서들의 위치를 극 좌표계 형태로 표현한 예이다. 노드 D의 진북방향을 기준으로 시계방향으로 모든 센서 노드들에 대하여 방위각과 실제거리 값을 부여하게 된다. 그림 1은 목적지 노드 D를 중심으로 225° 방향으로 거리 300미터 떨어진 위치에 노드 p가, 150° 방향으로 거리 450미터 위치에 노드 q가 있음을 보여주고 있다. 이와 같은 형태를 '전역방위각/거리'라고 정의하며, 목적지 노드와 센서 노드 간의 상대적인 위치를 나타낸다. 전역방위각(global angle)은 목적지 노드에서 센서 노드를 향한 방위각을 의미한다. 전역거리(global distance)는 목적지 노드와 센서 노드 간의 실제거리를 의미한다. 이와 같이 극 좌표계 방식의 위치표현으로 원점을 중심으로

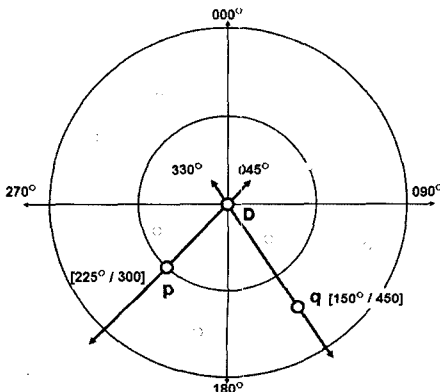


그림 1 목적지 중심의 전역방위각/거리

어떤 물체가 어느 방향으로 얼마만큼 떨어져 있는지를 쉽게 알 수 있으며, 원점을 향해 이동하고자 할 때 방향 정보를 직관적으로 활용할 수 있다. GPS로부터 직각 좌표계 형태로 제공되는 센서의 위치정보를 전역방위각/거리 값으로 변환하여 라우팅 과정에서 중요한 정보로 활용할 수 있다. 현재 노드는 목적지 노드를 기준으로 모든 이웃노드들의 방향(전역방위각)과 실제 거리정보(전역거리)를 사용하게 된다.

4.2 장애물 극복을 위한 우회경로

라우팅 경로 상에 장애물 등으로 인하여 현재 노드보다 목적지 노드에 더 가까운 이웃노드를 찾을 수 없을 경우 그리디 포워딩이 실패하게 된다. 예를 들어, 그림 2에서 검게 칠해진 부분은 장애물을 의미하며, 노드 P와 같이 목적지 방향으로 더 이상 라우팅을 진행할 수 없는 노드를 교착노드라 한다. 이러한 교착노드에 도달하면 장애물을 우회하기 위한 우회 경로를 고려해야 한다.

그림 2의 노드 P에서 우회경로를 결정하고자 할 때 두 개의 경로를 고려할 수 있다. 즉, 자신의 전역방위각(300°)보다 큰 경로(LGA)와 그 반대 경로(SGA)이다.¹⁾ LGA와 SGU 우회경로를 선택하는 기준은 현재 노드의 전역방위각과의 각도차이다. 즉, 이웃 노드들 중 현재 노드와 전역방위각의 차이가 가장 큰 노드를 찾아 그것의 전역방위각이 현재 노드의 그것보다 크면 LGA 우회경로를, 그렇지 않으면 SGU 우회경로를 선택한다. 일단 우회경로가 결정되면 정해진 우회경로로만 라우팅을 진행하게 된다. 예를 들어, 그림 2에서 노드 R이 노드 Q보다 각도차가 더 크므로 SGU 우회경로를 선택한다. 만일 SGU 우회경로로 라우팅을 진행하는 과정에서 그림 2와 같이 노드 P보다 목적지와의 거리가 짧은 노드 T를 찾게 되면 장애물 극복조건을 만족하게 되며, 노드 T에서 그리디 포워딩으로 전환하게 된다.

한편, 그림 3과 같이 LGA 우회경로로 라우팅을 진행하다가 네트워크의 외곽 경계선에 위치한 노드 Z에 도달할 때까지 장애물 극복조건을 만족하는 노드를 찾지 못할 수도 있다. 이러한 경우는 LGA 우회경로에 장애물 극복경로가 존재하지 않음을 의미하므로 SGU 우회경로로 변경해야 한다. 이와 같은 우회경로의 변경은 장애물을 극복할 때까지 최대 한 번 이루어지며, 상세한 방법은 6장에서 기술된다.

4.3 라우팅 방향과 상한구분

라우팅 과정에서 장애물을 극복하기 위해서는 목적지 노드를 향한 방향 외에 더 많은 라우팅 방향을 고려해야 한다. 현재 노드의 전역방위각과 전역거리를 기준으

1) LGA: Larger Global Angle, SGU: Smaller Global Angle. 이하 'LGA 우회 경로', 'SGU 우회경로'로 표기

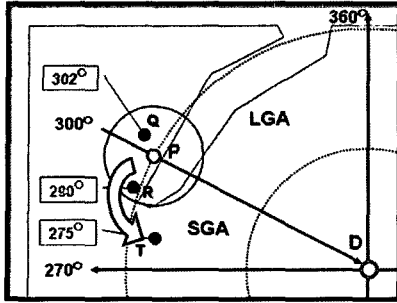


그림 2 SGA 우회경로

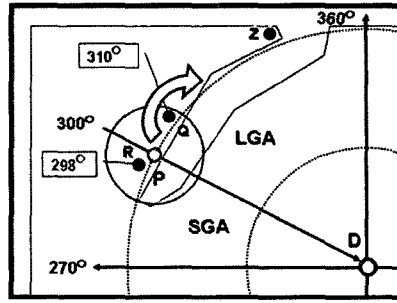


그림 3 LGA 우회경로

로 표 1과 같이 4가지의 라우팅 방향을 정의할 수 있다. 또한, 현재 노드의 통신 반경 내에 있는 영역을 그림 4와 같이 4개의 상한으로 구분할 수 있다. 즉, 그림 4에서 노드 Q보다 전역거리가 가까운 영역 중에서 노드 Q보다 전역방위각이 큰 영역을 1상한으로 정하며, 반시계 방향으로 나머지 영역에 대하여 순서대로 상한번호를 부여한다.

표 1에서 4가지 라우팅 방향과 그에 해당하는 상한을 보여주고 있다. 여기서 라우팅 방향과 상한은 매우 밀접하게 상호 연결되어 있다. 즉, 특정방향으로 진행한다는

것은 할당된 상한에 있는 어떤 노드로 메시지를 보낸다는 것을 의미한다. 또한, 할당된 상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드의 존재 여부에 따라 라우팅 방향과 현재 노드의 교착상태가 결정된다. 만일 그림 4에서 현재 노드 Q의 1, 4상한에 이웃노드가 존재하지 않고, 2상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드가 존재한다면, 노드 Q에서 F-방향으로 진행할 수 없지만, L-방향으로는 진행 가능하다. 표 2는 장애물 극복과정에서 발생할 수 있는 현재 노드의 교착상태와 라우팅 방향간의 관계를 나타낸 것이다.

표 1 라우팅 방향과 상한할당

구분	정의	관련 상한
F-방향	전역방위각이 동일하고 전역거리가 현재 노드보다 짧은 목적지 방향	1, 4
B-방향	전역방위각이 동일하고 전역거리가 현재 노드보다 긴 목적지 역방향	2, 3
L-방향	전역거리가 동일하고 전역방위각이 현재 노드보다 큰 방향	1, 2
S-방향	전역거리가 동일하고 전역방위각이 현재 노드보다 작은 방향	3, 4

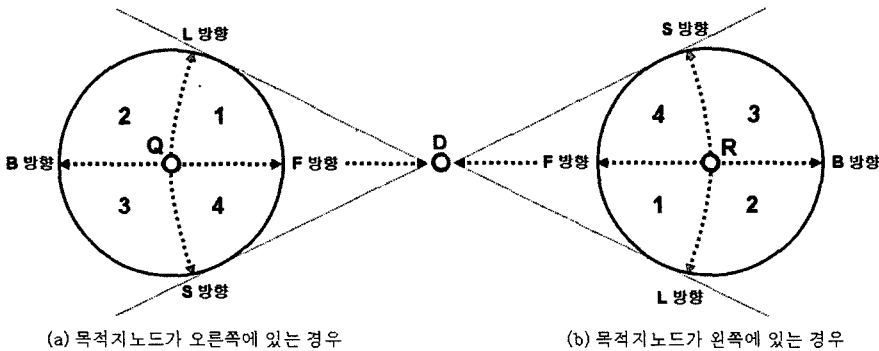


그림 4 현재 노드의 상한구분

표 2 교착상태와 라우팅 방향간의 관계

구분	정의	상태
F-교착상태	1, 4상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드 부재 시	F-방향으로 진행 불가
B-교착상태	2, 3상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드 부재 시	B-방향으로 진행 불가
L-교착상태	1, 2상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드 부재 시	L-방향으로 진행 불가
S-교착상태	3, 4상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드 부재 시	S-방향으로 진행 불가

5. 라우팅 알고리즘

5.1 라우팅 방향

앞 장에서 기술한 바와 같이 라우팅 방향과 상한은 매우 밀접하게 상호 연결되어 있다. 이러한 연결 관계는 제안 알고리즘의 라우팅 모드를 정의하는데 매우 중요하므로 본 절에서는 먼저 라우팅 방향의 관점에서 자세히 살펴본다. 표 1에서 하나의 라우팅 방향에 관련된 상한이 2개이므로 어떠한 상한을 먼저 확인할 것인지 결정해야 한다. 4.2절에 기술한 바와 같이, 최초 교착노드에서 LGA 우회경로를 선택한 경우 최초 라우팅 방향은 L-방향이며 관련된 상한은 1, 2상한이다. 교착노드로부터 메시지를 전달받은 노드는 우선 목적지 노드를 향한 F-방향으로 전진할 수 있는지 조사하기 위해 1상한 영역을 확인한다. 만일 1상한에 이웃 노드가 존재하지 않으면, L-방향으로 진행 가능한지 여부를 판단하기 위해 2상한을 확인하게 된다. 예를 들어, 그림 3의 노드 Q에서 F-방향으로 진행할 수 없으므로 L-방향으로 진행 가능여부를 고려한다. 만일 L-방향으로 진행할 수 없다면, 다음 라우팅 방향으로 B, S-방향 순으로 진행 가능여부를 고려한다.

이와 같이 LGA 우회경로의 경우 반시계 방향(F, L, B, S-방향 순)으로 라우팅 방향 우선순위를 부여한다. SGA 우회경로를 따를 경우 시계방향(F, S, B, L-방향 순)으로 라우팅 방향 우선순위를 부여한다. 교착노드로부터 메시지를 전달받은 노드의 경우를 가정할 때, 우회 경로별 라우팅 방향 우선순위를 바탕으로 그림 5와 같이 상한선택을 위한 우선순위를 부여할 수 있다. LGA 우회경로의 경우 반시계 방향으로 1, 2, 3, 4상한, SGA 우회경로의 경우 시계방향으로 4, 3, 2, 1상한 순으로 상한선택 우선순위를 부여한다.

이와 같이 우회경로별로 라우팅 방향 및 상한을 선택하기 위한 우선순위를 정의하는 것은 매 홉마다 목적지 노드에 가까운 영역으로 극복경로를 생성함과 더불어

무한루프의 진입을 방지하기 위한 것이다. 이러한 방식을 적용함으로써 할당된 각 상한에 이웃 노드가 존재하는지 여부에 따라 라우팅 방향을 적응적으로 전환하면서 장애물을 우회하게 된다. 라우팅 방향 및 상한 선택의 우선순위는 5.4절에서 기술되는 바와 같이 현재 노드의 라우팅 모드에 따라 변경된다.

5.2 라우팅 정책

라우팅 방향과 상한 간의 연결 관계에서 상한의 관점에서 살펴보면, 표 1에 나타난 바와 같이 각 상한에는 두 개의 라우팅 방향이 연관되어 있다. 만일 1상한에 메시징 수신 가능한 이웃노드가 존재한다면, F-방향과 L-방향 모두 진행 가능하다. 따라서 각 상한별로 라우팅 정책에 부합되는 라우팅 방향을 우선적으로 선택하기 위한 기준이 필요하다. 제안 알고리즘의 라우팅 기본정책은 4개의 라우팅 방향 중에서 진행하고자 하는 방향이 정해지면, 한 번의 통신으로 그 방향으로 가장 많이 진행하게 되는 노드를 우선적으로 선택하는 것이다. 이러한 라우팅 정책은 라우팅 과정에서 에너지 요소를 가장 먼저 고려한 것이다. 즉, 매 홉마다 평균적으로 메시지 통신회수를 줄이기 위해 라우팅 방향별로 할당된 상한 내에서 가장 많이 진행하는 노드를 선택하는 것이다. 각 상한별 노드 선택기준에 의해 라우팅 정책에 부합되는 노드를 선택할 수 있다. 표 3은 각 상한별로 노드 선택기준을 정의한 것이다.

5.3 라우팅 모드

메시지를 보유한 현재 노드가 정해진 방향으로 진행할 수 없을 경우 메시지에 설정된 라우팅 모드를 변경함으로써 장애물을 적응적으로 극복하게 된다. 라우팅 모드는 그리디 포워딩 방법과 동일한 정상모드 외에 우회경로마다 각각 4개의 모드가 정의된다. 즉, LGA 우회경로의 경우 L, B, S, F-방향에 따라 LGA(L), LGA(B), LGA(S), LGA(F) 모드이며, SGA 우회경로의 경우 S, B, L, F-방향에 따라 SGA(S), SGA(B), SGA(L), SGA(F) 모드이다.

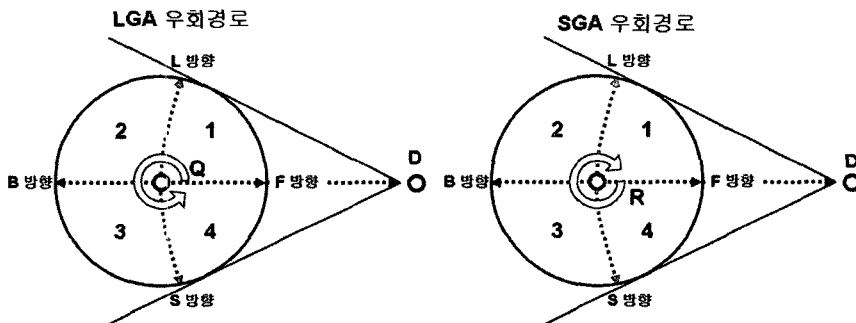


그림 5 우회경로별 상한선택 우선순위

표 3 상한별 노드 선택기준 (LGA 우회경로의 경우)

상한	노드 선택기준	라우팅 방향
1상한	전역거리가 가장 짧은 노드 (전역거리가 동일한 경우, 전역방위각이 가장 작은 노드)	F-방향
2상한	전역방위각이 가장 큰 노드 (전역방위각이 동일한 경우, 전역거리가 가장 짧은 노드)	L-방향
3상한	전역거리가 가장 긴 노드 (전역거리가 동일한 경우, 전역방위각이 가장 큰 노드)	B-방향
4상한	전역방위각이 가장 작은 노드 (전역방위각이 동일한 경우, 전역거리가 가장 긴 노드)	S-방향

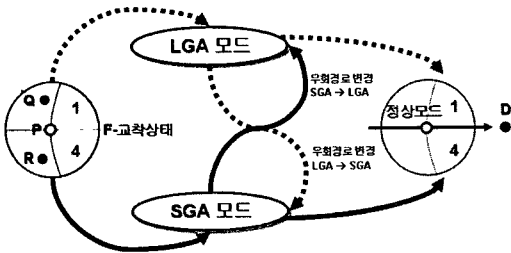


그림 6 라우팅 모드

그림 6은 목적지 노드가 오른쪽에 있는 경우, 그리디 포워딩 실패지점인 노드 P에서 정상모드로 전환될 때까지의 라우팅 모드전환 과정을 나타낸 것이다. 그림 6의 노드 P는 1, 4상한에 이웃노드가 존재하지 않으므로 F-교착상태에 도달한 노드이다. 만일 장애물 극복을 위한 우회경로를 SGA로 결정하였다면, 노드 P는 3상한에 존재하는 노드 R에게 SGA(S) 모드의 메시지를 전송하는 것을 시작으로 장애물의 형태에 따라 적응적으로 SGA 우회경로의 모드전환이 발생하게 된다. 한편, LGA 우회경로의 경우 노드 P는 2상한에 존재하는 노드 Q에게 LGA(L) 모드의 메시지를 전송하는 것을 시작으로

LGA 우회경로의 모드전환이 발생하게 된다. 만일 SGA 우회경로로 라우팅을 진행하는 과정에서 장애물 극복조건을 만족하는 노드를 찾았다면 우회경로 변경 없이 정상모드로 복귀하게 된다. 그러나 SGA 우회경로를 따라 라우팅을 진행하는 과정에서 장애물을 극복할 수 없는 상황에 이르면 LGA 우회경로로 변환함으로써 극복경로를 찾게 된다.

5.4 우회경로별 라우팅 모드전환 과정

본 절에서는 그림 3과 같이 LGA 우회경로의 경우를 가정하여 기술한다. 먼저 모드전환 과정을 살펴본 뒤, 실제 장애물 극복과정에서 어떻게 적용되는지 알아본다.

5.4.1 라우팅 모드전환 과정

장애물을 극복하는 과정에서 현재 라우팅 모드의 상한선택 우선순위와 각 상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드의 존재여부에 따라 라우팅 방향과 라우팅 모드가 전환된다. 표 4는 각 모드별 모드전환 과정을 나타낸 것이다. 여기서는 제한된 지면 관계상 LGA 우회경로의 4가지 모드 중 LGA(L) 모드를 중심으로 기술한다.

그림 3의 노드 Q는 노드 P로부터 LGA(L) 모드의 메시지를 수신하게 된다. LGA(L) 모드에서는 F-방향으로

표 4 LGA 우회경로의 모드전환 과정

현재 라우팅 모드	우선 순위	상한 선택	다음 라우팅 방향	라우팅 모드 전환
LGA(L)	1	1 상한	F-방향	L → F
	2	2 상한	L-방향	L → L
	3	3 상한	B-방향	L → B
	4	4 상한	S-방향	L → S
LGA(B)	1	2 상한	L-방향	B → L
	2	3 상한	B-방향	B → B
	3	4 상한	S-방향	B → S
	4	1 상한	F-방향	B → F
LGA(S)	1	3 상한	B-방향	S → B
	2	4 상한	S-방향	S → S
	3	1 상한	F-방향	S → F
	4	2 상한	L-방향	S → L
LGA(F)	1	4 상한	S-방향	F → S
	2	1 상한	F-방향	F → F
	3	2 상한	L-방향	F → L
	4	3 상한	B-방향	F → B

의 진행가능 여부를 가장 먼저 확인한다. 즉, 상한선택 우선순위에 따라 1상한부터 메시지 수신 가능한 이웃노드의 존재여부를 확인하게 된다. LGA(L) 모드에서 발생 가능한 모드전환은 다음과 같이 4가지 경우가 존재한다.

1. F-방향으로 진행 가능한 경우: LGA(L) → LGA(F)
2. F-방향으로 진행 불가하고, L-방향으로 진행 가능한 경우: LGA(L) → LGA(L)
3. F, L-방향으로 진행 불가하고, B-방향으로 진행 가능한 경우: LGA(L) → LGA(B)
4. F, L, B-방향으로 진행 불가하고, S-방향으로 진행 가능한 경우: LGA(L) → LGA(S)

첫 번째 경우는 1상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드가 존재하는 경우로 현재 노드는 모드를 LGA(L)에서 LGA(F)로 전환하여 F-방향으로 메시지를 전송한다. 두 번째 경우는 1상한에 이웃노드가 존재하지 않으면서 2상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드가 존재하는 경우이다. 현재 노드는 모드전환 없이 LGA(L) 모드의 메시지를 L-방향으로 전송한다. 세 번째 경우는 1, 2상한에 이웃노드가 존재하지 않으면서 3상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드가 존재하는 경우이다. 현재 노드는 모드를 LGA(L)에서 LGA(B)로 전환하여 B-방향으로 메시지를 전송한다. 마지막 경우는 4상한에만 메시지 수신 가능한 이웃노드가 존재하는 경우이다. 현재 노드는 라우팅 모드를 LGA(L)에서 LGA(S)로 전환하여 S-방향으로 메시지를 전송한다. 그림 7은 표 4의 전체 모드전환 과정을 그림으로 나타낸 것이다. 특히, 번호가 부여된 모드전환 과정은 LGA(L) 모드 중심의 4가지 모드전환을 의미한다.

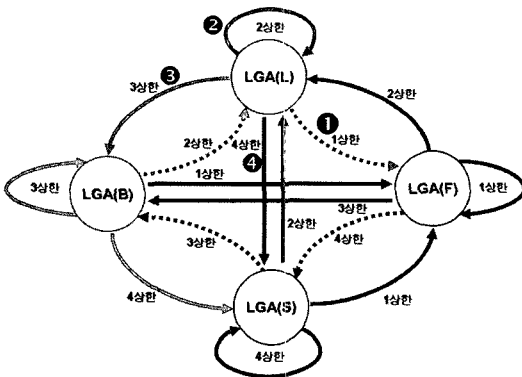


그림 7 LGA 우회경로의 모드전환 과정

5.4.2 메시지 포맷

LGA 우회경로에서의 장애물 극복과정을 살펴보기 전에 메시지 포맷에 대하여 알아본다. 표 5는 메시지 포맷

표 5 메시지 포맷 정의

항 목	기 능	표현 방식
Sid	출발 노드의 위치	전역방위각/거리
Pid	최초 교착노드의 위치	"
Detour	우회경로	LGA, SGA
Rmod	라우팅 모드	F, L, B, S
Mtour	장애물 극복과정에서 메시지가 이동한 총 구간	전역방위각

을 정의한 것이다. 본 절에서는 기본적인 라우팅 과정을 이해하기 위해 필요한 항목들에 대해서만 기술하고 이동구간과 관련된 항목인 Mtour에 대해서는 6장에서 기술한다.

모든 센서의 위치를 전역방위각/거리 값으로 표현함으로써 모든 센서들의 고유번호를 부여할 수 있다. 또한, 메시지를 보유한 모든 노드들은 자신의 전역방위각/거리 값을 가지고 목적지 노드로 진행하기 위한 방향과 거리를 알 수 있으므로 목적지 노드의 위치를 메시지에 별도로 표시할 필요가 없다. 이러한 특성을 이용하여 출발 노드, 최초 교착노드 및 메시지를 보유한 현재 노드의 위치를 모두 전역방위각/거리 값으로 표현하였다. 최초 교착노드의 위치를 나타내는 Pid는 장애물 극복조건을 확인하기 위해 필요한 정보이다. 즉, 장애물 극복과정에서 Pid의 전역거리보다 짧은 이웃노드를 발견하게 되면 정상모드로 전환할 수 있다.

정상모드에서 그리디 포워딩이 실패하게 되면 가장 먼저 우회경로를 결정해야 한다. 4장에서 기술한 우회경로 선택기준에 의해 결정된 우회경로를 Detour 항목에 기록한다. 만일 LGA 우회경로로 결정하였다면, 그림 8의 노드 P는 라우팅 모드를 LGA(L)로 설정하여 L-방향의 노드 Q에게 메시지를 전송한다. 한편, 노드 P로부터 LGA(L) 모드의 메시지를 수신한 노드 Q는 표 4에서 LGA(L)의 모드전환 절차를 따르게 된다. 이러한 라우팅 모드는 Rmod 항목에 기록되며 이전노드와 현재노드간의 라우팅 방향정보를 제공한다.

5.4.3 장애물 극복과정의 예

본 절에서는 그림 8에서 빗금 부분과 같은 형태의 장애물을 가정하여 제안방법으로 극복하는 과정을 알아본다. 먼저 LGA 우회경로에서 처음 메시지를 수신하는 경우(노드 Q)를 살펴보고, 그림 8에서 라우팅 모드가 반시계 방향으로 한 단계 변경되는 경우(노드 S)와 시계 방향으로 한 단계 변경되는 경우(노드 J)를 알아본다. 노드 Q는 최초 교착노드 P로부터 LGA(L) 모드의 메시지를 수신하게 된다. 노드 Q는 상한선택 우선순위에 의해 2상한의 노드 R을 선택하고, 라우팅 모드를 LGA(L)로 유지하여 L-방향의 노드 R에게 메시지를 전송한다. 그림 8의 경우 제안방법으로 1회의 메시지 전송

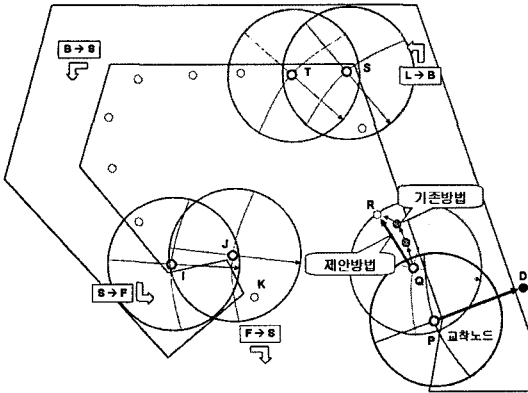


그림 8 LGA 우회경로의 장애물 극복과정

으로 노드 R에 도달할 수 있지만, 오른손-규칙에 기반한 기존방법은 3회의 메시지 전송이 요구된다.

노드 S는 이전노드로부터 LGA(L) 모드의 메시지를 수신하게 된다. 노드 S의 1, 2상한에 선택 가능한 이웃노드가 존재하지 않으므로 L-방향으로 진행할 수 없다. 따라서 노드 S는 B-방향으로의 진행 가능여부를 확인하게 된다. 3상한에 메시지 수신 가능한 이웃노드 T가 존재하므로 LGA(L)에서 LGA(B)로 변경된 메시지를 노드 T에게 전송함으로써 B-방향으로 진행하게 된다. 결과적으로 이 경우는 라우팅 모드가 LGA(L)에서 LGA(B) 모드로 한 단계 변경되는 경우이다. 노드 J는 이전노드 I로부터 LGA(F) 모드의 메시지를 수신하게 된다. 노드 J는 상한선택 우선순위에 의해 4상한의 노드 K를 선택하고, 모드를 LGA(S)로 전환하여 S-방향의 노드 K에게 메시지를 전송한다. 노드 J의 경우는 라우팅 모드가 LGA(F)에서 LGA(S)로 한 단계 변경되는 경우이다.

6. 라우팅 중단

6.1 경계 노드를 이용한 우회경로 변경

특정 우회경로로 장애물을 우회하다가 센서 네트워크의 외곽 경계선에 도달할 때까지 장애물 극복조건을 만족하지 못할 경우 우회경로를 변경하게 된다. 제안방법에서는 우회경로의 변경을 단 한번만 허용한다. 만일 두 번째 우회경로 변경조건을 만족하게 되면 장애물 극복경로가 존재하지 않는 것으로 간주하여 더 이상 라우팅을 진행하지 않는다.

그림 9에서 빗금 부분은 외곽 경계선, 음영으로 표시된 부분은 장애물을 의미한다. 노드 A와 Z는 외곽 경계선에 인접한 노드로서 경계노드(boundary node)라 정의한다. 최근 일련의 연구[18,19]에서 효과적으로 경계노드를 식별하는 방법이 다양하게 제안되었다. 본 논문에

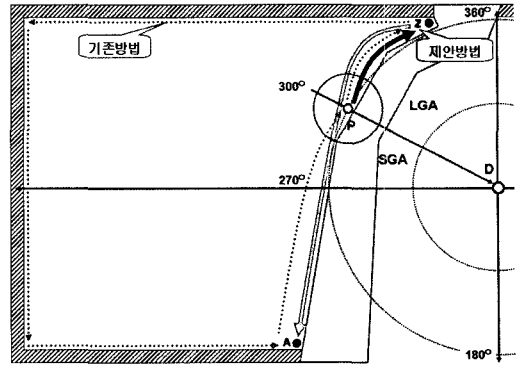


그림 9 우회경로 변경에 의한 라우팅 실패조건

서는 센서 네트워크의 최초 구성단계에서 이러한 경계노드에 대한 정보가 주어진다고 가정한다. LGA 우회경로로 장애물을 극복하는 과정에서 경계노드 Z에 도달할 때까지 장애물 극복조건을 만족하는 노드를 찾을 수 없으므로 SGA 우회경로로 변경하게 된다. 우회경로를 변경한 후로는 현재 노드의 전역방위각보다 작은 쪽으로 극복경로를 생성하게 된다. 또한, 상한선택 우선순위로 반시계방향에서 시계방향으로 변경된다. 만일 SGA 우회경로로 진행하는 과정에서 경계노드 A에 도달할 때까지 극복조건을 만족하지 못한다면 목적지 노드까지의 극복경로가 존재하지 않는 것으로 판단한다. 즉, 두 번째의 우회경로 변경조건을 만족할 경우 라우팅을 중단하게 된다. 그림 9와 같은 경우 오른손-규칙에 기반한 기존방법의 라우팅에서는 점선 화살표와 같은 비효율적인 우회경로를 생성하는 반면 제안방법에서는 기존방법에 비해 보다 효율적인 우회경로를 생성한다.

6.2 메시지의 이동구간 관리

장애물을 우회하는 라우팅 과정에서 최초 교차노드부터 장애물 극복조건을 만족하는 노드를 찾을 때까지 메시지의 누적 이동구간을 전역방위각으로 계산할 수 있다. 그림 2의 예에서 메시지의 이동구간은 최초 교차노드 P의 전역방위각과 장애물 극복조건을 만족하는 노드 T의 전역방위각과의 각도차를 의미한다. 예를 들어, 그림 2에서 메시지의 이동구간은 장애물 극복조건을 만족하는 노드 T의 전역방위각과 최초 교차노드 P의 전역방위각의 각도차로서, -25° 가 된다. 장애물 극복과정 중 특정 우회경로에서 메시지의 이동구간이 $+360^\circ$ 또는 -360° 를 초과할 경우 라우팅 중단 조건을 만족하게 된다. 이러한 경우 목적지까지의 메시지 전송 경로가 존재하지 않는 것으로 간주한다. 만일 그림 10과 같은 환형 장애물(음영으로 표시된 부분)을 극복하기 위해 최초 교차노드 P에서 우회경로를 LGA로 결정하였다고 가정하면, 목적지와의 경로가 차단된 형태의 장애물이므로 메

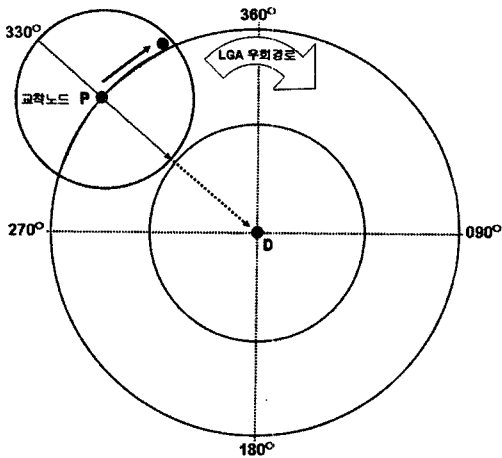


그림 10 메시지의 이동구간

시지의 이동구간이 360°가 되어 최초 교착노드에 도달할 때까지 극복경로를 찾을 수 없게 된다.

이러한 방법으로 라우팅 중단 조건의 만족 여부를 확인하기 위해 표 5의 Mtour 항목을 이용한다. 즉, 최초 교착노드에서 Mtour 항목의 값을 0°로 설정하고, 선택된 우회경로를 따라 라우팅을 진행하면서 누적된 전역 방위각을 계산하여 각 메시지의 Mtour 항목 값에 저장한다. 만일 경계 노드에 의해 우회경로의 변경이 발생하는 경우, 메시지의 Mtour 항목의 값을 0°로 설정하고 새로운 우회경로에서의 메시지 이동구간을 누적하여 관리한다.

7. 실험 및 분석

7.1 실험환경

제안 방법의 라우팅 성능을 평가하기 위해 플라나 과정이 요구되는 기존 방법 중에서 가장 잘 알려진 GPSR 방법과 비교하였다. 본 실험의 목적은 제안 방법과 GPSR 방법의 기본 라우팅 알고리즘 동작을 비교하기 위한 것이므로 각 센서 노드의 무선 통신 반경 내에서는 전송 거리에 따른 에너지 소모량이 동일하다고 가정하였다. 본 실험에서는 제안 방법과 GPSR 방법 간의 라우팅 성능 비교를 위해 센서 네트워크 환경을 시뮬레이션 하였다. 실험에 사용된 센서 네트워크는 가로 1000미터 × 세로 800미터 크기의 사각형의 형태이며 목적지 노드는 중앙에 위치한다. 센서 노드들의 위치는 임의적으로 생성되며 센서 노드의 밀도에 따라 표 6과 같이 약 5,000~11,000여개의 센서 노드가 배치된다. 센서 노드의 밀도는 단일 노드의 무선 통신반경 내에 존재하는 이웃노드의 평균 개수를 의미한다. 한편, GPSR 방법의 플라나 과정을 위한 조건을 만족시키기 위해 각 노드의

표 6 센서 노드의 밀도별 배치된 센서 노드의 총 개수

센서 노드의 밀도	배치된 센서 노드의 총 개수
20	5,795 개
25	7,208 개
30	8,584 개
35	10,000 개
40	11,438 개

표 7 네트워크 형태별 배치관련 환경변수

배치관련 환경변수	단위	값
센서 노드의 밀도	개	20~40
장애물의 비율	%	5~30
장애물의 반경	미터	15~35

무선 통신반경을 일정한 범위(30미터)로 동일하게 적용하였다.

본 실험에서는 장애물이 존재할 수 있는 실제 환경과 유사한 실험환경을 조성하기 위해 일정한 크기의 장애물들을 임의의 비율로 배치할 수 있도록 하였다. 장애물 비율은 전체 센서 노드들 중 동작하지 않는 노드의 비율을 의미한다. 장애물의 형태는 원형이며 반경을 지정함으로써 장애물의 크기를 다양하게 조절할 수 있도록 하였다. 표 7은 실험에 사용된 변수들의 값의 범위를 나타낸다.

본 실험에서는 성능 평가의 척도로서 에너지 효율성과 메시지 전송 성공률을 비교분석하였다. 에너지 효율성 평가를 위해 평균 라우팅 경로의 길이 즉, 메시지 송신 노드에서 목적지 노드까지의 라우팅에 포함된 노드의 평균 개수를 측정하여 비교하였다. 메시지 송신 노드는 임의로 선택하고 매 실험마다 1,000개의 메시지를 송신하는 과정에서 평균 라우팅 경로의 길이를 비교하였다. 또한, 메시지 전송 성공률은 목적지 노드에 성공적으로 도착한 메시지의 개수를 전송된 메시지의 총 개수로 나눈 값으로서 라우팅 알고리즘이 메시지를 손실 없이 성공적으로 전달할 수 있는지 여부를 평가하기 위한 것이다. 본 실험에서는 이 두 가지 척도를 이용하여 장애물의 비율 및 크기, 센서 노드의 밀도 등의 변화에 따른 두 라우팅 방법의 성능을 분석한다.

7.2 장애물의 존재에 따른 영향

7.2.1 장애물의 비율

본 절에서는 장애물의 비율에 따른 성능평가의 결과를 기술한다. 에너지 효율성과 메시지 전송 성공률은 센서 노드의 밀도, 장애물의 크기 등에 의해서도 영향을 받을 수 있으므로 센서 노드의 밀도와 장애물의 반경을 고정시킨 상태에서 장애물의 비율만 변경하였다. 즉, 센서 노드의 밀도를 30으로 고정하여 8,584개의 센서 노드를 생성하고, 장애물의 반경은 30미터로 고정하였다.

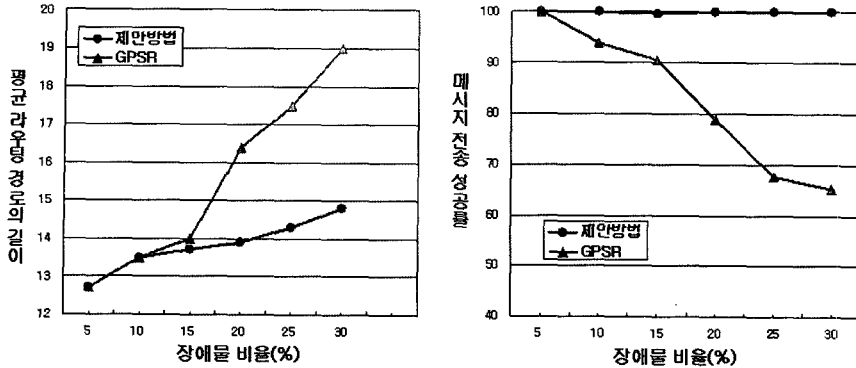


그림 11 장애물 비율에 따른 성능 비교 (장애물 반경 = 30m, 센서 노드의 밀도 = 30)

실험 결과, 장애물의 비율이 높아질수록 제안 방법은 GPSR 방법에 비해 짧은 평균 라우팅 경로를 생성할 뿐만 아니라 높은 메시지 전송 성공률을 보여준다. 그림 11에서 장애물의 비율이 5~15% 구간에서는 별다른 차이가 없지만, 장애물의 비율이 20~30% 구간에서 제안 방법이 GPSR 방법에 비해 15~20% 더 짧은 라우팅 경로를 생성하며, 약 25~50% 더 높은 메시지 전송 성공률을 나타낸다.

제안 방법은 라우팅 진행방향이 정해지면 그 방향에서 가장 많이 진행하게 되는 이웃 노드를 선택하므로 장애물이 존재하는 경우에도 에너지 효율적인 라우팅 경로를 생성한다. 또한, 플라나 과정 없이 상한선택 우선순위와 선택 가능한 이웃 노드의 존재여부에 의해 장애물을 극복하므로 실제 환경에서 높은 메시지 전송 성공률을 나타낸다. 한편, GPSR 방법은 페리미터(perimeter) 모드에서 플라나 과정을 거치므로 장애물의 비율이 높을수록 플라나 과정의 실패를 유발할 가능성이 높아진다. 따라서 장애물이 많은 환경에서 상대적으로 낮은 메시지 전송 성공률과 비효율적인 라우팅 경로를 생성하게 된다.

7.2.2 장애물의 크기

그림 12는 장애물 크기에 따른 에너지 효율성과 메시지 전송 성공률을 나타낸 것으로서 장애물의 비율(30%)과 센서 노드의 밀도(30)의 값을 고정된 상태에서 장애물의 반경을 변경하였다. 실험 결과, GPSR 방법은 장애물의 크기가 증가할수록 평균 라우팅 경로의 길이가 점점 길어지는 현상을 나타낸다. 이에 비해 제안 방법은 장애물의 크기가 증가하더라도 평균 라우팅 경로의 길이가 완만하게 길어짐을 알 수 있다. 즉, 제안 방법은 장애물의 크기에 그다지 영향을 받지 않음을 의미한다.

7.3 센서의 밀도에 따른 영향

그림 13은 센서 노드의 밀도에 따른 에너지 효율성과 메시지 전송 성공률을 나타낸 것이다. 여기에서는 장애물의 영향을 동일하게 하기 위해 장애물의 비율과 크기를 고정하였다. 제안하는 방법은 GPSR 방법에 비해 보다 나은 에너지 효율성과 메시지 전송 성공률을 보여주고 있다. GPSR 방법의 그리디 모드에서는 센서 노드의 밀도가 증가함에 따라 평균 라우팅 경로의 길이가 짧아지나, 페리미터 모드에서는 평균 라우팅 경로의 길이가 길어진다. 결과적으로 센서 노드의 밀도가 증가함에 따

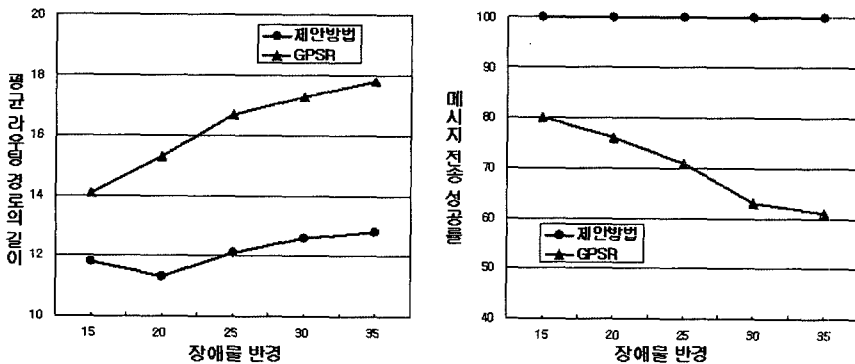


그림 12 장애물 크기에 따른 성능 비교 (장애물 비율 = 30%, 센서 노드의 밀도 = 30)

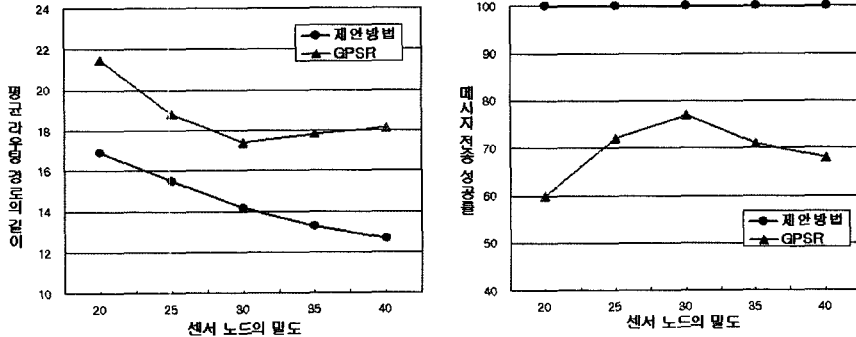


그림 13 센서 노드의 밀도에 따른 성능 비교 (장애물 비율 = 30%, 장애물 반경 = 30m)

라 처음에는 라우팅 경로의 길이가 짧아지다가 센서 노드의 밀도가 일정 수준에 도달하면 라우팅 경로의 길이가 길어지는 현상을 나타낸다. 따라서 GPSR 방법은 센서 노드의 밀도가 증가할수록 에너지 비효율적인 라우팅 경로를 생성하게 됨을 알 수 있다. 한편, 제안 방법에서는 장애물을 극복하기 위해 정해진 라우팅 방향에서 가장 먼 거리에 위치하는 이웃노드를 선택하기 때문에 장애물이 존재하는 경우에도 센서 노드의 밀도가 증가할수록 평균 라우팅 경로의 길이가 짧아진다.

8. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 센서 노드가 배치된 지역에 존재할 수 있는 다양한 형태의 장애물을 적응적으로 극복하기 위한 새로운 형태의 위치기반 라우팅 기법을 제안하였다. 제안 방법에서는 센서의 위치를 극 좌표계로 표현하여 방향정보를 활용하였으며, 정해진 라우팅 방향에서 가장 멀리 메시지를 보낼 수 있는 노드를 우선적으로 선택함으로써 에너지 효율적인 경로를 생성한다. 제안 방법의 가장 큰 장점은 플라나 과정 없이 정해진 상한에 이웃 노드의 존재여부에 따라 장애물을 적응적으로 극복할 수 있다는 점이다. 또한, 센서 노드의 무선 통신반경에 대한 상한구분과 진행방향별 상한환당으로 무선 통신반경이 일정하지 않은 경우에도 견고하게 작동할 수 있다. 제안 방법의 단점으로는 센서 네트워크 구성단계에서 경계선 노드를 찾아내기 위해 부가적인 비용이 필요하다.

실험을 통하여 다양한 형태의 장애물이 존재하는 경우에 제안 방법이 에너지 효율적인 극복 경로를 생성하며, 만족할 만한 수준으로 목적지 노드까지 메시지를 전달할 수 있음을 보였다. 향후 연구과제는 GPS 등으로부터 제공되는 센서 노드의 위치 정보가 부정확하거나, 센서 노드의 무선 통신반경이 일정하지 않은 실제 네트워크 환경에서 제안 방법이 기존 방법에 비해 에너지 효율적인 라우팅 성능을 보유하고 있음을 입증하는 것이다.

참고 문헌

- [1] Q. Fang, J. Gao, and L. J. Guibas, "Locating and Bypassing Routing Holes in Sensor Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM'04, March 2004.
- [2] B. Karp and H. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in Proceedings of ACM MobiCom'00, August 2000.
- [3] Brad Karp. Geographic Routing for Wireless Networks. PhD thesis, Harvard University, 2000.
- [4] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, "Routing with Guaranteed Delivery in Ad Hoc Wireless Networks," 3rd Int'l Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications (DialM'99), August 1999.
- [5] T. He, J. A. Stankovic, C. Lu, and T. F. Abdelzaher, "SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks," in Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'03), May 2003.
- [6] Silvia Giordano, Ivan Stojmenovic, Position Based Routing Algorithms For Ad Hoc Networks: A Taxonomy (2001).
- [7] S. Ratnasamy, D. Estrin, R. Govindan, B. Karp, S. Shenker, L. Yin, and F. Yu. Data-centric storage in sensornets. In First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA), Atlanta, GA, September 2002.
- [8] Karim Seada, Ahmed Helmy, Ramesh Govindan, "Modeling and Analyzing the Correctness of Geographic Face Routing under Realistic Conditions," ACM Transactions on Sensor Networks (Submitted August 2005).
- [9] B. Karp. "Challenges in Geographic Routing: Sparse Networks, Obstacles, and Traffic Provisioning," Slides presented at the DIMACS workshop on Pervasive Networking, May 2001. (www.icir.org/bkarp/gpsr/gpsr.html)
- [10] E. Kranakis, H. Singh, and J. Urrutia. Compass

routing on geometric networks. In Proc.11th Canadian Conference on Computational Geometry, pages 51-54, 1999.

- [11] Kousha Moaveninejad, Wen-Zhan Song, Xiang-Yang Li, Robust position-based routing for wireless ad hoc networks, Elsevier Journal of Ad Hoc Networks (ADHOC), 2004.
- [12] F. Kuhn, R. Wattenhofer, and A. Zollinger. "Worst-Case Optimal and Average-Case Efficient Geometric Ad-Hoc Routing," ACM Mobihoc 2003.
- [13] Ben Leong, Sayan Mitra, and Barbara Liskov, "Path Vector Face Routing: Geographic Routing with Local Face Information," Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP 2005). Boston, MA, November 2005. To appear.
- [14] Y.J. Kim, R. Govindan, B. Karp, S. Shenker, Geographic Routing Made Practical. Proc. of USENIX NSDI 2005.
- [15] Rahul C. Shah, Adam Wolisz and Jan Rabaey, "On the performance of geographical routing in the presence of localization errors," IEEE International Conference on Communications, 2005.
- [16] T. He, C. Huang, B. Blum, J. Stankovic, and T. Abdelzaher. "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," ACM MOBIKOM 2003.
- [17] J. Newsome and D. Song, "GEM: Graph Embedding for Routing and Data-Centric Storage in Sensor Networks without Geographic Information," in Proceedings of First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '03), November 2003.
- [18] A. Kröller, S.P. Fekete, D. Pfisterer, S. Fischer: Deterministic boundary recognition and topology extraction for large sensor networks, To appear in Proc. 17th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 06).
- [19] K. Chintalapudi, R. Govindan, Localized Edge Detection in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the IEEE ICC Workshop on Sensor Network Protocols and Applications, pp. 1-11, April 2003.



고영일

1989년 공군사관학교 외국어학과 학사
1999년 국방대학교 국방과학 석사. 2006년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정. 관심분야는 데이터베이스, 센서 네트워크, 데이터마이닝



박창섭

1995년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사. 1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사. 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 전산학전공 박사. 2002년 3월~2005년 2월 KT 서비스개발연구소 선임보연구원. 2005년 3월~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사. 관심분야는 XML, Web Services, OLAP, Database Systems 등



손인근

1997년 육군사관학교 정보공학과 학사
2005년 한국과학기술원 전자전산학과 석사. 2006년~현재 방위사업청 지휘통제통신전자사업부 근무. 관심분야는 시공간 데이터베이스, 센서 네트워크, XML



김명호

1982년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1984년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1989년 미국 Michigan State University 전산학과 박사. 현재, 한국과학기술원 전산학전공 교수. 관심분야는 데이터베이스 시스템, 분산시스템, XML, Sensor

Networks 등